Environment Canada Environnement Canada

Criteria for Basin Selection and Sampling Station Macrolocation

L. Désilets*

*Present address:
Water Quality Branch, Quebec Region
Environment Canada
1001 Pierre Dupuy
Longueuil, Quebec
J4K 1A1

SCIENTIFIC SERIES NO. 164

INLAND WATERS DIRECTORATE
WATER QUALITY BRANCH
OTTAWA, CANADA, 1988

Published by authority of
the Minister of the Environment

© Minister of Supply and Services Canada 1987

Cat No. En 36-503/159

ISBN 0-662-55809-X

Contents

	Page
ABSTRACT	iv
SUMMARY	v
INTRODUCTION	1
THE RIVER BASIN AS A SAMPLING UNIT	1
SAMPLING STATION MACROLOCATION	2
Global approach	3
River Sub-basin approach	3
River Stretch approach	4
Lake sampling stations	4
General considerations	4
INDEX STATION NETWORKS AND RECURRENT RIVER BASIN NETWORKS	5
AN EXAMPLE OF STATION MACROLOCATION IN A DRAINAGE BASIN	6
CONCLUSION	7
ACKNOWLEDGMENTS	7
REFERENCES	7
APPENDIX. Criteria for basin selection and sampling station location	9

Tables

1. Hydrochemical balance of a river drainage basin affected by human activities	2
2. The use of Index Station and Recurrent River Basin networks in water quality assessments	6

Illustrations

Figure 1. Horton's stream classification	3
Figure 2. Strahler's stream classification	3
Figure 3. Sampling station location in a drainage basin	7

Abstract

This report is designed as a technical guide for the implementation of the Water Quality Branch Strategy for Assessments of Aquatic Environmental Quality. It describes the approach and rationale used for the selection of representative river basins and sampling station locations as part of Index Station or Recurrent River Basin networks to assess water quality issues pertaining to the aquatic environment.

Summary

The drainage basin was chosen as the sampling unit for the implementation of the Water Quality Branch Strategy for Assessments of Aquatic Environmental Quality because it provides a realistic framework on which to assess water quality issues. Sampling stations can be located in a basin following three aproaches: Global, River Sub-basin, and River Stretch. The first and second approach will be used to implement an Index Station Network for the assessment of water quality baseline conditions and long-term trends. The second and third approach will be used for the assessment of spatial distribution of pollutants and their impacts. These networks are considered as complementary tools for water quality assessments, on a spatial as well as a temporal scale. The resulting data will also provide information required to establish site specific water quality objectives and develop compliance assessments.

Criteria for Basin Selection and Sampling Station Macrolocation

L. Désilets

INTRODUCTION

The Water Quality Branch (WQB) of Environment Canada is responsible for the development and implementation of comprehensive water quality assessments to

(a) provide scientific and technical information and advice to government, private agencies and the public, and promote the wise management of the quality of waters of federal interest

(b) detect emerging water quality concerns and evaluate water quality issues of Canada's inland waters from a regional and national point of view (Water Quality Branch, 1985).

The Federal Policy Statement on Inland Waters (policy No. 9, 1978) committed Environment Canada "to monitoring the quality of international, interprovincial, Indian reserve, national park and other waters in Canada where there is a significant national interest" (e.g. the Long Range Transport of Airborne Pollutants program, LRTAP). A 1982 Cabinet directive broadened this mandate to link federal and provincial monitoring activities to generate more comprehensive aquatic environmental quality assessments. Such cooperative assessments are essential if a national perspective in addressing priority issues such as toxic substances and acid rain is to be developed. Currently, the Branch is negotiating with the provinces the implementation of a series of federal-provincial agreements on water quality monitoring.

To meet the 1982 Cabinet directive, the Branch developed the "Water Quality Branch Strategy for Assessments of Aquatic Environmental Quality" (Haffner, 1986). The Strategy's specific objectives are to

(1) determine changes and long-term trends in the aquatic ecosystem

(2) detect emerging concerns on local, regional and national scales

(3) determine the effectiveness of regulatory actions related to legislative controls

(4) develop water quality objectives and compliance assessments

(5) determine the need for special (cause and effect) studies.

The Assessment Strategy is not considered a specific program, but rather as a general philosophy that links existing and new programs. These programs include presently implemented federal programs (e.g. transboundary or LRTAP networks) and newly proposed federal-provincial programs. They are designed to enhance joint planning, work and cost-sharing, and data exchange with the provinces. Over the long-term, all WQB programs should fit within the Strategy and be compatible with federal-provincial agreements. The Assessment Strategy provides objectives and rationale to implement or optimize water quality networks, but specific issues (e.g. toxics, LRTAP) will be handled by monitoring plans and design considerations specific to these issues.

THE RIVER BASIN AS A SAMPLING UNIT

The Water Quality Branch Strategy for Assessments of Aquatic Environmental Quality uses river basins as the basic sampling unit across Canada. River drainage basins are natural hydrological and ecological units employed in water planning and management (Pearse *et al.*, 1985; Lotspeich, 1980; Welch, 1978; Cluis *et al.*, 1974). When a river basin is used as a sampling unit, issues related to the river basin can be viewed as a whole and the dynamics of upstream quality can be related to downstream effects. The river basin is an environmental premise upon which to implement water quality agreements because it provides a realistic framework on which to assess water quality issues.

Natural (physiography, geology, climate and vegetation) and socio-economic factors (population, industries,

agriculture, mining and forestry) result in spatial and temporal variability between and within basins. Thus, each basin is characterized by its own hydrochemical balance (Table 1). When selecting drainage basins for water quality assessments, priority should be given to the basins where water quality issues are most pressing. In the case of very large basins, such as the St. Lawrence River, the Mackenzie River and the Saint John River, it becomes necessary to break the basin down into more manageable units, such as the mainstem and the major tributaries.

Table 1. Hydrochemical Balance of a River Drainage Basin Affected by Human Activities

Symbol	Remarks
	$M_O = M_i + \Delta M_G + \Delta M_B + \Delta M_H$
M_O	The mineral, contaminant and nutrient dissolved charge brought out of the basin by the drainage waters at the river mouth
M_i	The total atmospheric deposition falling on the drainage basin and coming from natural and human sources (dust, acid rain, etc.)
ΔM_G	The total geologic or abiotic natural or modified contribution of the basin (erosion, mines, construction, cropland runoff, etc.)
ΔM_B	The biologic or biotic natural or modified contribution of the basin (wildlife, flora, agriculture, cattle, woodcuts, etc.)
ΔM_H	The direct human contribution in minerals, nutrients or contaminants (industries or municipal sewages or farms: nutrients, heavy metals, pesticides, sludges, etc.)

Source: Modified from Grisel *et al.* (1977), p. 337.

Numerous criteria can be used to determine priority issues and areas where assessments are required. These criteria are listed in the Appendix. They are divided into three broad categories: descriptors of the geographical zones in which the basins are situated (e.g. baseline water quality), water uses and needs (e.g. water quality issues), and numerical indices that can be used to characterize a series of basins. The following examples show how these criteria have been used during the negotiation of federal-provincial agreements during the past three years:

(i) When the agreement was negotiated with Quebec, drainage basins of interest to each party, according to various issues, were listed and described with respect to their total area, total population, physiographic region(s) and their level of development. Basins were characterized by plotting drainage areas against total population, and physiographic regions and levels of development were mapped. Various combinations of these criteria were used to create a series of options and identify basins of joint interest.

(ii) In the case of Newfoundland, all river basins of interest were first listed with their area and streamflow. Then all water uses (i.e. issues) in each of these basins were identified along with existing or potential federal or provincial mandates for water quality monitoring. Mandates and water uses were then used as criteria to assign a priority level to each basin and identify areas of joint interest, or of federal or provincial interest only. Priority levels also enabled the managers to determine which basins were to be monitored using the available resources for network implementation.

(iii) Basins in British Columbia were chosen on the basis of joint interest in present or potential water use conflicts. Consideration was also given to coverage of the hydrologically diverse basins in the province.

(iv) Basins in Manitoba were chosen following a series of designated watersheds. Water quality issues were identified for each basin and priorities were assigned based upon federal and provincial priorities.

These examples show differing procedures used for basin selection within the criteria previously outlined, in response to the regional characteristics of drainage basins and the importance given to various water quality issues. Nevertheless, some steps are common to all examples. First, water quality issues must be listed in order of priority and localized to identify the basins of interest. It should be noted that once a basin is classified as of joint interest, this does not mean that all the stations in the basin are federal-provincial. Both governments can show an interest in the same basin for different water quality issues and therefore only a fraction of the stations may be of joint interest.

SAMPLING STATION MACROLOCATION

The drainage basin, as shown above, is a concept that links all that is happening in a given basin with part of the hydrological cycle. Various authors have described and explained the linkages between the atmospheric, terrestrial and aquatic systems of a drainage basin (Likens and Bormann, 1974; O'Sullivan, 1979; Welch, 1978). Water quality can thus be predicted as a consequence of climatic, geologic or biologic factors (Lotspeich, 1980). Moreover, these factors induce a downstream gradient in physical (e.g.

streamflow), morphological (e.g. enlargement) and biological (e.g. succession) characteristics of rivers and lakes when their order increases (Vannote *et al.*, 1980). This river continuum is in turn affected by human activities. Anthropogenic water quality alterations can be thought of as reset mechanisms which cause a shift in the overall continuum response toward the headwaters (impoverishment) or seaward (enrichment), depending on the type of perturbation and its location on the river system (Vannote *et al.*, 1980).

From these observations, three approaches for station location were developed, following a gradient in spatial scale: the Global, the Sub-basin, and the River Stretch approaches.

Global Approach

The Global approach was set up to assess the hydrochemical balance of a river basin (Table 1). It is based on the assumption that a river basin behaves like a "black box" in which inputs (what comes from the outside of the basin) and outputs (what leaves the basin) are measured. This can be done by locating a station near the mouth of a river and another near its sources. The headwater station is useful to assess background water quality and possibly assess the magnitude of diffuse inputs to the river basin (such as the influence of atmospheric deposition). The station at the mouth of the river reflects the integration of major water quality changes that have occurred in the fluvial system. From this perspective, all the stations located using the Global approach are useful in assessing long-term trends, loadings, and background conditions.

River Sub-basin Approach

Once the atmospheric inputs and the outputs of a river basin are monitored, the next logical step of the assessment is to identify the location, contribution and impacts of the pollution sources within the basin. These sources are either diffuse or point source inputs. Diffuse sources to consider include agricultural lands and forested areas. The River Sub-basin approach is used to assess water quality impairments induced by diffuse sources. According to Vannote *et al.* (1980), there is a downstream gradient in the river caused by an accumulation of material released from the head of the basin (mineral and organic material). In the case of diffuse sources of pollutants, the same gradient exists if pollutants are released from large areas (e.g. agricultural areas). Thus, diffuse sources of pollutants can be assessed by looking at various orders of river sub-basins.

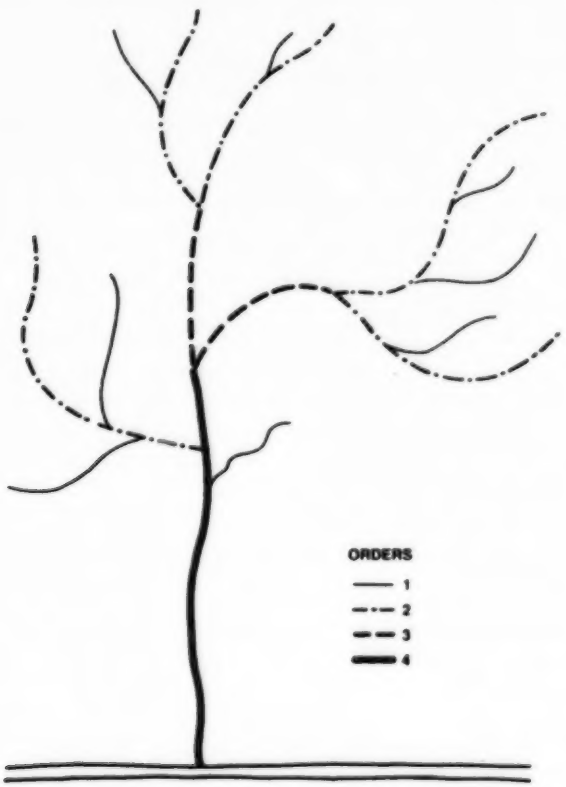

Figure 1. Horton's stream classification.

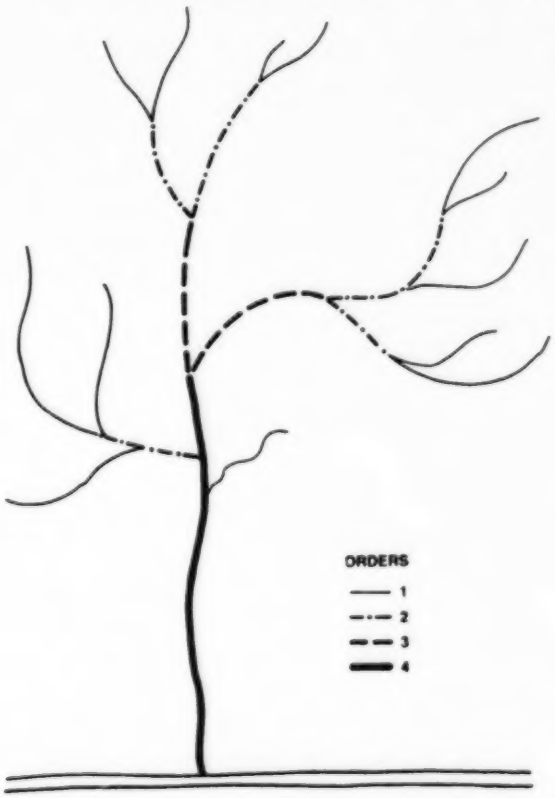

Figure 2. Strahler's stream classification.

Morphological descriptors are the most easily measured and interpreted to identify sub-basins of the same order within a basin.

The best known river segment definition and classification method is Horton's method (1945) (Fig. 1). The method is useful for building a hierarchy of streams in the same drainage basin and for dividing the basin into sub-basins. Although the order of the streams is related to their streamflow, there is some imprecision introduced at the level of order 1 streams because, in most cases, one cannot find any hydrological or chemical difference between the order 1 stream and the first segment of the order 2 streams into which it flows. Strahler (1953) accounted for this imprecision by giving the order "x" to a given segment of river where it joins two separate segments of order "x-1" as shown in Figure 2.

For the WQB Strategy for Assessments of the Quality of Aquatic Environments, Strahler's stream segment classification is recommended. It should be used to divide a basin into sub-basins and to determine the major tributaries and mainstem segments of a given river. Sampling stations can then be located at the mouth of major tributaries or downstream from their confluence with the main river.

River Stretch Approach

The River Stretch approach is used to assess the importance of one or various point sources of pollutants and their impact on downstream aquatic environmental quality. Point sources to consider include major cities (waste waters), industrial sites, landfills, construction sites and hydroelectric dams. Other sites to consider because of likely water quality changes induced by other uses of water are commercial fishing areas and recreational areas. Reviews of the technical aspects of station macrolocation based on pollutant input to the river can be found in reports by the U.S. Environmental Protection Agency (1975, 1977), Erlebach (1979), the Interdepartmental Committee on Water (1973), and Sanders *et al*. (1983).

The first step of the River Stretch approach is to make an inventory of pollutant point sources within a given basin. The spatial distribution of contaminants of concern and affected areas can be studied by sampling upstream and downstream of known or potential point sources or of any site where a change in water quality is expected.

Lake Sampling Stations

Lakes are part of the river system, but show characteristics different from those of running waters, which can be useful for water quality assessments.

At the scale of the Global approach, lakes act as natural collectors of atmospheric deposition and are also compositors of all the inputs coming from a discrete watershed. They represent a good location from which to obtain samples representative of the effects of diffuse atmospheric inputs (O'Sullivan, 1979; Likens and Bormann, 1974). This is especially true for headwater lakes.

In addition, lake water sampling often shows less temporal variance (but greater spatial differences) than river sampling. These considerations favour the use of lakes for long-term trend assessments, as the monitoring costs are potentially reduced.

The following criteria are suggested to assist in the selection of headwater lakes to include in the network:

(a) Headwater lakes measure the effects of atmospheric deposition and therefore should be located on the most elevated sites of the basin, away from agricultural lands and urban areas, to avoid local climatic effects (Interdepartmental Committee on Water, 1973)

(b) Area and distribution of the chosen lakes should correspond to the general area and distribution of the river basin lakes

(c) Selected lakes should be accessible by road or air

(d) Lake depth should be at least 10 m for stable thermal conditions

(e) Dystrophic or bog lakes should be avoided

(f) Lakes fed by large inlets should be excluded because of the possible dominance of stream characteristics.

In the case of the River Sub-basin or River Stretch approach, lakes located on the mainstream, as well as reservoirs or embayments, are known as sinks for suspended material. This characteristic makes them very useful for short or long-term water quality assessments based on sediment sampling.

As a general rule, water and sediment sampling stations should be located near the centre of the lake, at the greatest depth, to avoid shoreline effects. Detailed criteria for lake station location are given in the Appendix.

General Considerations

As a general rule, past or present monitored sites should be taken into account when locating a water quality sampling station, to ensure long-term continuity in data sets

or to identify seasonal cycles before the calculation of sampling frequencies. Water quality monitoring stations should be located close to water quantity stations when these already exist, in order to facilitate the study of water quality-quantity relationships. When locating a station within a province, cooperation with provincial water quality agencies is recommended, as provincial officers are familiar with local water quality issues and sources of pollution.

Station microlocation, not described here, is based mainly on site accessibility and logistic considerations, which should be outlined in the Assessment Plan developed for each province. Media to be sampled and parameters to be measured, as well as guidelines for data interpretation and determination of sampling frequencies, are provided in Haffner (1986).

INDEX STATION NETWORKS AND RECURRENT RIVER BASIN NETWORKS

Two types of water quality assessment network designs are described in the "Water Quality Branch Strategy for Assessments of Aquatic Environmental Quality" (Haffner, 1986): Index Station Network and Recurrent River Basin Network.

Index Station networks are defined as long-term operated networks consisting of a series of fixed stations (U.S. EPA, 1977, 1975). Data from this type of network are used to

(a) indicate long-term trends in ambient water quality

(b) estimate the extent of seasonal variation in water quality

(c) identify new or emerging issues

(d) design Recurrent Basin networks or extend Recurrent Basin Network short-term results over a greater time period

(e) estimate the ability of the water to support designated uses, i.e., to develop water quality objectives

(f) give an indication of compliance with water quality objectives

(g) determine the impacts upon water quality of general disturbance such as LRTAP or alteration of agricultural patterns

(h) serve as a reference for future issues

(i) assess the general state of the aquatic environment of basins across the region or across Canada.

Recurrent Basin networks are defined as short-term intensive sampling networks consisting of stations operated on a recurrent basis (e.g. ten years). These networks are designed to

(a) investigate spatial variability of water quality or spatial distribution of contaminants

(b) study representativeness of sampling stations, i.e., verify, calibrate or extend results from related Index stations

(c) develop biomonitoring tools

(d) determine sources, pathways and impacts of individual pollutants on aquatic life

(e) give a spatial picture of present or emerging water quality concerns

(f) develop and refine site specific water quality objectives

(g) examine cause-effect relationships between exposure to contaminants and impacts on aquatic life

(h) address specific issues or information needs on the behaviour of specific chemical parameters

(i) make recommendations concerning existing or future activities or developments.

In summary, Index Station networks are essential for long-term trends and baseline water quality data, but lack flexibility. Fixed stations become very expensive to operate (on a long-term basis) if a large-scale spatial coverage of a given basin is needed. Recurrent Basin networks seem the most appropriate type of assessment to describe a given water quality issue in a basin at a given time. Moreover, a Recurrent Basin network can supply the necessary information for a basin where no historical water quality data are available. Recurrent networks are very flexible, and stations can be transferred from one basin to another after one or two years of operation in response to new water quality issues. A comparison of the types of water quality assessments provided by the respective networks is made in Table 2.

Table 2 shows that each type of network has particular advantages and disadvantages; neither can provide a complete assessment of water quality (Belle and Hughes, 1983). Although often recommended as exclusive alternatives (Comptroller General of the United States, 1981), Index Station networks and Recurrent Basin networks are considered in the Strategy as complementary mechanisms to obtain environmental data. Basically, Index Station networks are limited in their ability to address questions

Table 2. The Use of Index Station and Recurrent River Basin Station Networks in Water Quality Assessments

Type of assessment	Information requested	Sampling network required	Potential sampling sites*
Background information or baseline conditions of the system studied	Levels of major ions and nutrients	Index	1, 2, 3, 4, 5, 7
	Seasonal concentration patterns	Index	1, 2, 3, 4, 5, 7
	Annual concentration patterns	Index	1, 2, 3, 4, 5, 7
	Presence and concentration of various contaminants in different media	Recurrent or Index	1, 2, 11, 14
Spatial distribution or spatial trends in contaminant concentrations	Mapping of contaminant distribution	Recurrent	1 to 14
	Determination of homogeneous zones	Recurrent	1 to 14
	Spatial gradients (e.g. downstream gradient)	Recurrent (many sites) or Index (few sites)	4, 6, 8 to 14 4, 10, 14
Long-term trends	Identification of time trends in historical data sets	Index	1, 2, 3, 4, 14
Identification of real or potential water quality issues	Scan of potential contaminants to assess their presence	Index (few sites) or Recurrent (many sites)	1, 2, 14 7 to 14
	Evaluation of environmental risks (human health, protection of aquatic life, etc.) by comparison with water quality guidelines	Index (few sites) or Recurrent (many sites)	10 to 14 1, 2, 6, 8 to 14
Assessment of environmental impacts	Measurement of contaminant effects on aquatic life and on various water uses	Recurrent	1, 2, 6, 10, 11, 13, 14
Development of water quality objectives or guidelines	Assessment of the degree of mineralization of given river segments	Index	1 to 5, 7, 10, 14
	Determination of minimum effect concentrations for different pollutants in various media for various water uses	Recurrent	1,2,8 to 14
Implementation of water quality objective compliance networks	Assessment of compliance with time (%) identification of diffuse sources	Index	14, 8, 9
	Description of the area of a given effect location of point sources	Recurrent	1,2,6,11,13,14
Estimation of loadings	Determination of total mass of a contaminant transported in yearly streamflow	Recurrent	1, 6, 8, 9, 13, 14
Effectiveness of an implemented regulation of the impact of the implementation of a project on water quality (e.g. dam)	Determine whether water quality has changed since the implementation of the project	Recurrent (short-term) or Index (long-term)	11, 12, 14 12, 14

* Sampling site locations are shown in Figure 3.

of spatial variability, cause and effect relationships or interactions between physical, chemical and biological components. Recurrent Basin networks are limited in their ability to detect time trends.

Both approaches provide valuable information for the development of water quality objectives and design of compliance networks. Temporal data sets from Index Station networks can be used for assessing compliance with time (allowable percentage of results that exceed the objective) and identify diffuse sources of contaminants, whereas spatial data sets from Recurrent Basin networks will yield information on the area of effect, severity, and location of point sources of contaminants.

AN EXAMPLE OF STATION MACROLOCATION IN A DRAINAGE BASIN

The rationale and criteria for sampling station macrolocation as previously described have been applied in the following example. Toxics in the aquatic environment are considered to be a major water quality issue in the basin shown in Figure 3. This basin has been selected because of its known various sources of toxic substances, e.g., industries at the mouth of the river, a large urban area, intensive agricultural activities in the southern part of the basin, and recent pesticide sprayings in the forested area of the northern part of the basin. There is also possible LRTAP precipitation. Moreover, an international boundary crosses

the head of the basin and potential toxic imports require assessment.

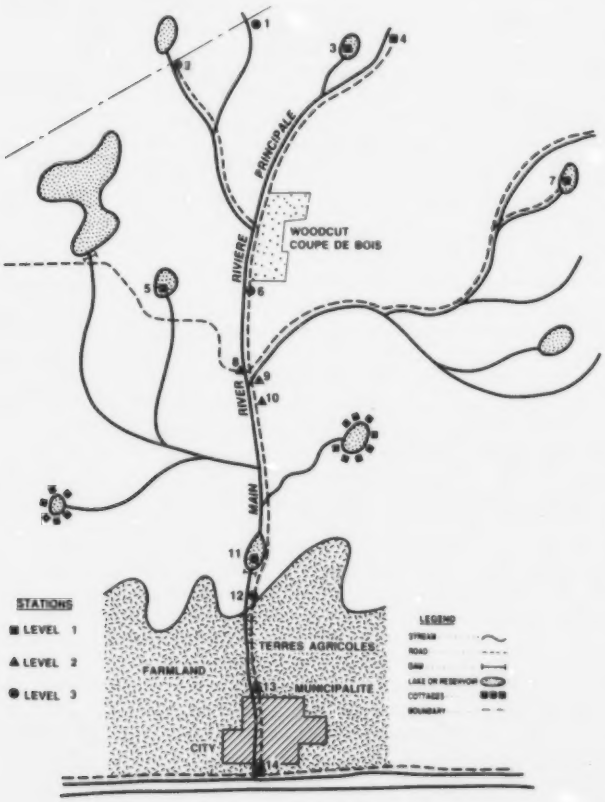

Figure 3. Sampling station location in a drainage basin.

Figure 3 shows a series of 14 sites that can be used for station macrolocation in the basin studied. Within a single water quality issue, e.g. toxics, various types of assessments can be made, as specified in the objectives of the sampling network to be designed. Table 2 links the potential sampling sites shown in Figure 3 with the type of assessment for which each can be used.

CONCLUSION

Flexible criteria for station macrolocation are needed because of the great variety of river basins (owing to size, geology, climate, human activities, etc.), water quality issues (eutrophication, acidification, toxics, etc.), and water quality assessments (background information, time trends, spatial trends, etc.). The combination of the Global, Subbasin and River Stretch approaches provides a spatial gradient from which various types of water quality assessments can be planned. The use of Index stations and Recurrent stations provides a means by which temporal as well as spatial assessments, respectively, can be addressed separately or on a complementary basis. The tables show how to link a given sampling site with one or more objectives of the original network plan for the assessment of a water quality issue.

It is suggested that this report be used as a working paper for the preparation of the Assessment Plan summarized in each federal-provincial agreement, and as a reference document for the implementation of the Water Quality Branch Strategy for Assessments of Aquatic Environmental Quality.

ACKNOWLEDGMENTS

The author would like to acknowledge all those who took part in the completion and review of his report. Special thanks are extended to G.D. Haffner, who initiated the report; R. Kwiatkowski, who reviewed it thoroughly; and regional and head office Water Quality Branch personnel. The author would also like to thank the staff of the Word Processing Unit and Editorial and Publications Division, Inland Waters Directorate, and the Drafting Unit, Administrative Services Division, who were involved in the production of the report.

REFERENCES

Belle, G. van, and J.P. Hughes. 1983. Monitoring for water quality: fixed stations versus intensive surveys. Water Pollut. Control Fed. J., 55(4): 400–404.

Benson, M.A. 1959. Channel slope factor in flood frequency analysis. Proc. Ann. Soc. Civ. Eng., Hydraulics Div., 85: 1.

Bostock, H.S. 1972. Physiographic subdivisions of Canada. In *Geology and Economic Minerals of Canada*, Geological Survey of Canada, Economic Geology Series No. 1, 5th ed.

Campbell, P.G., M. Meybeck, and A. Tessier. 1973. *Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec*. Vol. 1. Relations entre l'utilisation de la ressource et sa qualité. Institut National de Recherche Scientifique-Eau, Université du Québec, Complexe scientifique, Sainte-Foy, Rapport scientifique nº 32, 94 pp.

Cluis, D., D. Couillard, and L. Potvin. 1974. *Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec*. Vol. 4. Utilisation du territoire d'un bassin et modèle d'apports. Gouvernement du Québec, ministère des Richesses naturelles, Direction générale des eaux, Service de la qualité des eaux, Québec. Pub. Q.E.-9, 133 pp.

Comptroller General of the United States. 1981. Better monitoring techniques are needed to assess the quality of rivers and streams. Report to Congress, United States of America, General Accounting Office, Pub. CEO-81-30, Washington, D.C., 205 pp.

Dodge, D.P., G.A. Goodchild, J.C. Tilt, and D.G. Waldriff. 1981. Manual of Instructions – Aquatic Habitat Inventory Surveys. Fisheries Branch, Ministry of Natural Resources, Government of Ontario, Official Procedural Manual, Policy F1.2.03.01, 168 pp.

Energy, Mines and Resources Canada. 1974. *National Atlas of Canada*. 4th ed.

Environment Canada. 1978. A Vital Resource. Federal Policy Statement on Inland Waters. Ottawa.

Environment Canada. 1979. Historical Streamflow Summary Series, Surface Water Data Series, Sediment Data Series. Water Survey of Canada, Inland Waters Directorate, Ottawa.

Environment Canada. 1981. *Analytical Methods Manual* (update). Water Quality Branch, Inland Waters Directorate, Ottawa.

Environment Canada. 1982. Canadian Climate Normals 1951-1980. Vol. 1, Solar Radiation, Vol. 2. Temperature, Vol. 3. Precipitation, Vol. 4. Degree Days, Vol. 5. Wind, Vol. 6. Frost. Atmospheric Environment Service.

Erlebach, W.E. 1979. A Systematic Approach to Monitoring Trends in the Quality of Surface Waters. In *Establishment of Water Quality Monitoring Programs*, L.G. Everett and K.E. Schmidt (ed.), Proc. Symp. AWRA, San Francisco, June 12-14, 1978, pp. 17-19. American Water Resources Assoc., Minneapolis, Minnesota, 370 pp.

Fisheries and Environment Canada. 1977. Reference Index – Hydrometric Map Supplement, Canada, 1977. Water Survey of Canada, Inland Waters Directorate, Ottawa.

Fisheries and Environment Canada. 1978. *Hydrological Atlas of Canada*.

Grisel, H., M. Lachance, M. Meybeck, J.-L. Sasseville, and H. St-Martin. 1977. Évolution de la qualité de l'eau dans le cycle hydrologique. Chapter 3, pp. 170-368. In *Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec*, H. St-Martin and M. Cantin (ed.). Vol. 2. Processus de régulation de la qualité des eaux d'un bassin. Institut National de Recherche Scientifique-Eau, Université du Québec, Sainte-Foy. Rapport scientifique nº 33, 760 pp.

Haffner, G.D. 1986. Water Quality Branch strategy for assessments of aquatic environmental quality. Sci. Ser. No. 151, Water Quality Branch, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa, 17 pp.

Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am., (56): 275.

Hutchinson, G.E. 1957. Geography, physics and chemistry – Vol. I. In *A Treatise on Limnology*, Chapman & Hall, London, 1015 pp.

Interdepartmental Committee on Water Working Group on Water Quality Networks. 1973. Guidelines for the Planning and Operation of Inland Water Quality Assessment Programs and the Interpretation of Data. Environment Canada, Ottawa, 36 pp.

Likens, G.E., and F.H. Bormann. 1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. Biosci., 24(8): 447-56.

Lind, O.T. 1979. *Handbook of Common Methods in Limnology*. C.V. Mosby Company, Toronto, 199 pp.

Lotspeich, F.B. 1980. Watershed as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for a natural classification system. Water Resour. Bull., 16(4): 581-86.

Miller, V.C. 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Project NR 389-042, Rep. 3, Department of Geology, Columbia University, New York.

O'Sullivan, P.E. 1979. The ecosystem-watershed concept in the environmental sciences – a review. Int. J. Environ. Stud., 13:273-81.

Pearse, P.H., F. Bertrand, and J.W. MacLaren. 1985. *Currents of Change*. Final Report, Inquiry on Federal Water Policy. Ottawa, 222 pp.

Sanders, T.G., R.C.Ward, J.C. Loftis, T.D. Steele, D.D. Adrian, and V.J. Yevjevich. 1983. *Design of Networks for Monitoring Water Quality*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 328 pp.

Sasseville, J-L., H. St-Martin, and M. Cantin (ed.). 1978. *Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec*. Vol. 2. Processus de régulation de la qualité des eaux d'un bassin. Ministère de Richesses naturelles du Québec, Service de la qualité des eaux, rapp. Q.E.-7, 760 pp.

SCOTT'S Directories. 1984-85. Published by SCOTT'S Directories – a division of Southam Communications Ltd., Oakville, Ontario.

Shilts, W.W. 1981. Sensitivity of bedrock to acid precipitation; modification by glacial processes. Geol. Surv. Can. Pap. 81-14, 7 pp. (includes maps 1549A, 1550A and 1551A).

Strahler, A.N. 1953. Revision of Horton's quantitative factor in erosional terrain. Trans. Am. Geoph. Union, (34): 345.

Thie, J., and G. Ironside (ed.). 1977. *Ecological (biophysical) land classification in Canada – Classification écologique (biophysique) du territoire au Canada*. Proc. first meeting CCELC, May 25-28, 1976, Petawawa, Ontario, Lands Directorate, Environment Canada, Cat. No. En 73-3/1, 269 pp.

U.S. Environmental Protection Agency. 1975. Model State Water Monitoring Program. U.S. EPA, National Water Monitoring Panel, Water Monitoring Task Force, Pub. EPA-440/74-002.

U.S. Environmental Protection Agency. 1977. Basic Water Monitoring Program. U.S. EPA, Standing Work Group on Water Monitoring, Pub. EPA 440/9-76-025, 51 pp.

Vannote, R.L., G. Wayne Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell, and C.E. Cushing, 1980. The river continuum concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37: 130-37.

Water Quality Branch. 1985. The Business of the Water Quality Branch. Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa, 68 pp.

Welch, D.M. (ed.). 1977. Land/Water Integration. Canada Committee on Ecological (biophysical) Land Classification, Working Group on Land/Water Integration, Lands Directorate, Environment Canada. Proc. of the first meeting, February 17-18, 1977, Winnipeg, Manitoba, 70 pp.

Welch, D.M. 1978. Land/Water Classification – a review of water classifications and proposals for water integration into Ecological Land Classification. Lands Directorate, Environment Canada, Ecological Land Classification Series, No. 5, 53 pp.

Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. W.B. Saunders Company, Toronto, 743 pp.

APPENDIX A

CRITERIA FOR BASIN SELECTION AND SAMPLING STATION LOCATION

Table A-1. Drainage Basin Selection Criteria

Geographical regions

Hydrographic regions

Hydrographic regions subdividing each province of Canada have been defined, but the regions described may be too large to be of practical use. In some cases, however, the provinces have developed their own regions. Therefore it is suggested that basins be described following the provincial perspective.

Natural or physiographic regions

These regions are characterized by a defined topographical and geological pattern, often associated with a vegetation or climatic pattern (see Bostock (1970), Fisheries and Environment (1978), Thie and Ironside (1977)).

Regions influenced by man

These regions are characterized by their natural resources potential, the transformation level of these resources, the diversity and importance of economic activities, and their total population (see Energy, Mines and Resources Canada, 1974).

Water quality issues

One can identify consuming (u) or contaminating (c) water uses, for example,

- industrial activities (pulp and paper, chemicals etc.) (u, c)
- major cities or urban areas (u, c)
- dams (c)
- agriculture (irrigation, livestock watering) (u, c)
- forestry and logging (c)
- mines (u, c)
- commercial fisheries (u)
- recreation (u, c)
- water transportation (u, c)

Numerical indices

Basins can be classified following an increasing or decreasing order for one or more measured indices. Combined indices can also be used. The results can be plotted on a graph to identify groups of basins (e.g. heavy populated basins with a large area). Some easily measured indices are

- drainage basin area
- drainage basin population
- average streamflow

Table A-2. Indicators Used in Characterizing Representative Basins Chosen for WQB Assessment Strategy Purposes*

Indicators	Sources
Location	
Name of the river	
Basin and sub-basin code numbers: federal	Fisheries and Environment Canada (1977)
Basin and sub-basin code numbers: provincial	
Topographic maps (1:250 000 scale) code numbers	Energy, Mines and Resources Canada
Past and present monitored stations	
Federal water gauging stations	Environment Canada (1981, 1979)
Provincial water gauging stations	
Federal water sampling stations	
Provincial water sampling stations	
Natural habitat	
(a) Topography and physiography	Sasseville *et al.* (1978)
(i) Rivers	Welch (1978, 1977)
Drainage basin area	
Drainage basin perimeter	
Miller's circularity index	Miller (1953)
Minimum, maximum and mean altitudes	
The basin hypsometric curve	Strahler, (1953)
The gradient profile	
Mean slope of the basin (intersection method)	Horton (1945)
Main river length	
Benson's slope index	Benson (1959)
River bend	Sasseville *et al.* (1978)
Presence of lakes or bogs	
Stream segment hierarchy	Strahler (1953)
River pattern: trellis, dendritic, etc.	
Main valley shape: young, mature, old	
Physiographic regions	Thie and Ironside (1977)
Topography: flat, hilly, undulated, mountainous, embanked, plateau, terraces, eskers, etc.	
(ii) Lakes	
Location: longitude and latitude	Hutchinson (1957)
Lake and watershed areas	Lind (1979)
Average basin slope	Dodge *et al.* (1981)
Lake perimeter (shoreline length)	Wetzel (1975)
Shoreline development index (SLD)	
Lake shape index	
Maximum length	
Orientation of main axis	
Topography (see (i) above)	
Maximum and mean depth	
Lake volume	
(b) Geology	
Geological region	Energy, Mines and Resources Canada, (1974)
Shilts's geological regions	Shilts (1981)
Superficial deposits (till and glacial deposits, marine or aquatic deposits)	
Erosion, mineralization (major ions, suspended solids)	

* These indicators are also used to support the definition of water quality issues, station location and data interpretation.

† All Water Survey of Canada data are stored in a computer bank called HYDAT.

Table A-2. Continued

Indicators	Sources
(c) Climate	
Climatic regions: tundra, taiga,	Energy, Mines and Resources Canada (1974)
Minimum, maximum or mean annual or seasonal temperatures	Environment Canada (1982)
Number of iced days per year	Environment Canada (1982)
Mean annual precipitation (rain, snow)	Environment Canada (1982)
Mean annual or seasonal atmospheric deposits	Canadian Air and Precipitation Monitoring Network (CAPMoN)
(d) Soils and vegetation	
Percentage of forested areas	
Ecological districts	Thie and Ironside (1977)
Dominant soils (mineralization, drainage, fertility)	Canadian Land Data System, Lands Directorate
Pedoclimatic zones	Energy, Mines and Resources Canada (1974)
(e) Hydrology	
Hydrological maps (1:200 000)	Fisheries and Environment (1977)
Streamflow: mean, variance, annual and monthly minimum and maximum	Water Survey of Canada†
Water level: mean, variance, annual and monthly minimum and maximum	Water Survey of Canada
Flood maps	Water Planning and Management Branch, Inland Waters Directorate
(f) Biology and physico-chemistry	
Water productivity (e.g. chlorophyll *a*)	
Nutrients (loading, sources)	
Turbidity	
Mineralization (major ions, suspended solids)	
Heavy metals and organics in water, sediment, biota	
Fish (spawning areas, feeding areas, etc.)	
Other aquatic species present in the area (plankton, macrophytes, benthic organisms)	
Anthropogenic influences	
(a) Population	Statistics Canada
Total	
Density	
Shoreline cities or villages and their population	
GNP per capita	
Counties	
Percentage of unemployment	
Sectors of employment (i.e., forest, industry, agriculture)	
(b) Municipalities	Environmental Protection Service, provincial departments of environment, municipalities
Developed area	
Location and type of sewage treatment plant	
Sewage outlets	
Volume of effluent	
Water consumption	
Location and total area of drinking water reservoir	
Drinking water treatment	

Table A-2. Continued

Indicators	Sources
(c) Agriculture	Statistics Canada, provincial departments of agriculture
Total farm number	
Total farm area (and percentage of basin area)	
Total crop area, by categories	
Total cattle number, by categories	
Total fertilizer sales; categories and amounts sold during previous years	
Total pesticides sales; categories and amounts sold during previous years	
(d) Forestry	Statistics Canada, Lands Directorate, provincial departments of natural resources
Timber area (and percentage of basin area)	
Forested area	
Percentage of manpower	
Presence of logging	
Forest spraying area	
Types and amounts of pesticides used	
(e) Mines	Energy, Mines and Resources Canada, provincial departments of mines
Location	
Number (operated or unaffected)	
Extracted minerals	
Area affected by mine tailings	
Percentage of regional manpower	
Economic trends	
(f) Hydroelectric power	Provincial hydro companies; Water Planning and Management Branch, Inland Waters Directorate
Dams, number and location	
Total electricity production	
Reservoir location and area	
Total river hydroelectric potential	
(g) Industries	Provincial departments of environment
Percentage of regional manpower	Statistics Canada
Major industries	
Number and location of plants, mills or factories	SCOTT'S Directories
Seasonality of operation	
Number and locations of discharge outlets	Environmental Protection Service
Final products, raw materials	
Pollutants found in waste waters	Campbell *et al.* (1973), Environmental Protection Service
(h) Transportation	Transport Canada, provincial departments of transportation
Terrestrial, fluvial and aerial transportation infrastructures	
Material/products transported on these routes	
Road construction sites	

Table A-2. Concluded

Indicators	Sources
(i) Recreational areas	Provincial departments of environment tourism; Parks Canada
Seasonality	
Number and importance of campsites, cottages, sightseeing, beaches, parks (provincial or federal)	
Population in attendance	
Septic tank inspection compliance results	
(j) Pollution	
Available historical data and studies on water	NAQUADAT (National Water Quality Data Base)
Volume of municipal or industrial effluents	Environmental Protection Service
Regional and per capita consumption and BOD for water	
Presence of fecal coliforms in water	Provincial departments of environment
Diffuse sources of sediments (agriculture, deforestation, construction)	
Deposition rate of airborne pollutants calculated phosphorus loadings	(CAPMoN)

Environnement Canada Environment Canada

Critères de sélection des bassins et de macrolocalisation des stations d'échantillonnage

L. Désilets*

*Adresse actuelle:
Direction générale des eaux intérieures, Région du Québec
Environnement Canada
1001 Pierre Dupuy
Longueuil (Québec)
J4K 1A1

ÉTUDE N° 164, SÉRIE SCIENTIFIQUE

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES
DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX
OTTAWA, CANADA, 1988

Publié avec l'autorisation
du ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1987

N° de cat. En 36-502/164

ISBN 0-662-55809-X

Table des matières

Page

RÉSUMÉ iv

SOMMAIRE v

INTRODUCTION 1

BASSIN VERSANT DE RIVIÈRE EN TANT QU'UNITÉ D'ÉCHANTILLONNAGE 1

MACROLOCALISATION DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE 3
- Approche globale 3
- Approche par sous-bassin de rivière 3
- Approche par segment de rivière 3
- Stations d'échantillonnage des lacs 4
- Considérations générales 5

RÉSEAUX PERMANENTS ET RÉSEAUX PÉRIODIQUES 5

UN EXEMPLE DE MACROLOCALISATION DE STATIONS DANS UN BASSIN DE DRAINAGE 7

CONCLUSION 7

REMERCIEMENTS 7

RÉFÉRENCES 8

ANNEXE. Critères de sélection des bassins et de macrolocalisation des stations d'échantillonnage 10

Tableaux

1. Bilan hydrochimique du bassin versant d'une rivière affectée par des activités humaines 2

2. Utilisation des réseaux permanents ou périodiques dans l'évaluation de la qualité des eaux 6

Illustrations

Figure 1. Classification des cours d'eau, méthode de Horton 4

Figure 2. Classification des cours d'eau, méthode de Strahler 4

Figure 3. Localisation des stations d'échantillonnage sur un bassin versant 7

Résumé

Ce document est conçu comme un guide technique utilisé dans la mise en oeuvre de la stratégie de la Direction de la qualité des eaux pour l'évaluation de la qualité du milieu aquatique. Le document décrit l'approche et les critères utilisés dans la sélection de bassins versants représentatifs et la localisation des stations d'échantillonnage à titre de composantes d'un réseau de stations permanentes ou périodiques pour l'évaluation des questions relatives à la qualité du milieu aquatique.

Sommaire

Le bassin versant a été retenu comme unité d'échantillonnage dans la mise en oeuvre de la stratégie de la Direction de la qualité des eaux pour l'évaluation de la qualité du milieu aquatique, parce qu'il s'agit d'une entité physique fort utilisée qui procure un cadre concret à partir duquel on peut faire l'évaluation de diverses questions sur la qualité des eaux. Les stations d'échantillonnage peuvent être localisées sur le bassin selon trois approches : globale, par sous-bassin, et par segment de rivière. Les deux premières approches vont être utilisées pour la mise en oeuvre d'un réseau de stations permanentes (indicatrices) destiné à l'évaluation des conditions de base de qualité des eaux et leurs tendances à long terme. Les approches par sous-bassin et par segment de rivière seront utilisées pour la mise en oeuvre d'un réseau périodique orienté vers l'évaluation de la distribution spatiale des polluants et leurs impacts. Les deux types de réseaux décrits sont considérés comme des outils complémentaires pour l'évaluation de la qualité des eaux, tant à l'échelle spatiale que temporelle. Les données résultantes vont aussi permettre d'élaborer des objectifs pour des lieux spécifiques et de planifier des réseaux de contrôle de ces objectifs.

Critères de sélection des bassins et de macrolocalisation des stations d'échantillonnage

L. Désilets

INTRODUCTION

La Direction de la qualité des eaux (DQE) d'Environnement Canada est responsable du développement et de la mise en oeuvre des évaluations globales de la qualité des eaux pour

(a) fournir des renseignements et des conseils d'ordre scientifique et technique au gouvernement, aux organismes privés et au public et encourager une gestion avisée de la qualité des eaux d'intérêt fédéral

(b) déceler les nouveaux problèmes de qualité des eaux et évaluer les questions sur la qualité des eaux intérieures du Canada, sur le plan régional et national (Direction de la qualité des eaux, 1985).

L'énoncé de la politique fédérale sur les eaux intérieures (Politique nº 9, 1978) a confié à Environnement Canada la surveillance de la qualité des eaux internationales ou interprovinciales, celles des réserves indiennes ou des parcs nationaux et toutes les eaux canadiennes «d'intérêt national important» (p. ex., le programme du Transport à distance des polluants atmosphériques TADPA). La directive du Cabinet de 1982 a élargi ce mandat pour permettre la combinaison d'activités de surveillance fédérales et provinciales afin de générer des évaluations plus complètes de la qualité des eaux. De telles évaluations conjointes sont nécessaires si on veut développer une perspective nationale dans la résolution de questions prioritaires comme les substances toxiques et les pluies acides. Actuellement, la Direction est en cours de négociation avec les provinces pour la mise en oeuvre d'une série d'ententes fédérales-provinciales sur la surveillance de la qualité des eaux.

Dans le but de se conformer à la directive du Cabinet de 1982, la Direction a développé la «Stratégie de la Direction de la qualité des eaux relative à l'évaluation de la qualité de l'environnement aquatique» (Haffner, 1986).

Les objectifs spécifiques de la Stratégie sont :

(1) estimer les changements et les tendances à long terme dans l'écosystème aquatique

(2) déceler les nouveaux problèmes à l'échelle locale, régionale ou nationale

(3) déterminer si certaines normes légales sont efficaces

(4) élaborer des objectifs de qualité des eaux et des réseaux de contrôle de ces objectifs

(5) identifier les besoins en études spéciales (de causes à effets).

La stratégie d'évaluation n'est pas considérée comme un programme en elle-même mais plutôt comme une philosophie générale qui combine ensemble les programmes actuels et à venir. Ces programmes incluent les programmes actuels fédéraux en place (p.ex., réseaux transfrontaliers ou TADPA) et les nouveaux programmes fédéraux-provinciaux proposés. Ils sont conçus pour favoriser la planification conjointe, le partage des coûts et la main d'oeuvre, et l'échange des données avec les provinces. À long terme, tous les programmes de la DQE seront reliés à la stratégie et seront compatibles avec les ententes fédérales-provinciales. La stratégie d'évaluation décrit les objectifs et les spécifications pour la mise en oeuvre et l'optimisation des réseaux d'échantillonnage de la qualité des eaux, mais les questions spécifiques (p.ex., substances toxiques, TADPA) seront évaluées selon des plans de surveillance et des critères de conception spécifiques à ces questions.

BASSIN VERSANT DE RIVIÈRE EN TANT QU'UNITÉ D'ÉCHANTILLONNAGE

La stratégie d'évaluation de la qualité du milieu aquatique de la Direction de la qualité des eaux utilise le bassin versant de rivière comme unité de base d'échantillonnage pour tout le Canada. Les bassins versants sont des entités hydrologiques et écologiques naturelles utilisées dans la planification et la gestion des ressources en eau (Pearse et coll., 1985; Lotspeich, 1980; Welch, 1978; Cluis et coll., 1974). Lorsqu'un bassin versant est utilisé pour les programmes d'échantillonnage, il est plus facile de visualiser les questions de qualité des eaux sur ce bassin et de relier la dynamique de la qualité des eaux en amont à celle des eaux en aval. Le bassin versant est un fondement environnemental valable pour mettre en oeuvre les ententes sur la qualité des eaux parce qu'il procure un cadre concret pour l'évaluation des questions de qualité des eaux.

Les facteurs naturels (physiographie, géologie, climat et végétation) et socio-économiques (population, industries, agriculture, mines et foresterie) créent une variabilité spatiale et temporelle entre les bassins et dans ces bassins-mêmes. Par conséquent, chaque bassin est caractérisé par son propre bilan hydrochimique (tableau 1). Dans la sélection des bassins versants pour l'évaluation de la qualité des eaux, il faudrait accorder la priorité aux bassins où les questions sur la qualité des eaux sont les plus pressantes. Dans le cas des très grands bassins comme celui du fleuve Saint-Laurent, du fleuve Mackenzie ou de la rivière St-Jean par exemple, il devient nécessaire de diviser le bassin en unités plus faciles à gérer, comme les affluents principaux et le cours principal de la rivière.

Tableau 1. Bilan hydrochimique du bassin versant d'une rivière affectée par des activités humaines

Symbole	Remarques
	$M_O = M_i + \Delta M_G + \Delta M_B + \Delta M_H$
M_O	Charges minérales, nutritives et contaminantes dissoutes transportées hors du bassin par les eaux de drainage à l'embouchure de la rivière
M_i	Charges atmosphériques totales tombant sur le bassin versant et provenant de sources naturelles ou humaines (poussière, pluies acides, etc.)
ΔM_G	Contribution naturelle ou modifiée de la masse géologique ou abiotique du bassin (érosion, mines, construction, pertes de sols agricoles, etc.)
ΔM_B	Contribution naturelle ou modifiée biologique ou biotique du bassin (vie aquatique, flore, agriculture, bétail, coupes forestières, etc.)
ΔM_H	Contribution humaine directe en minéraux, nutriments ou contaminants (eaux usées industrielles ou municipales, ou fermes : nutriments, métaux lourds, pesticides, boues, etc.)

Source : Modifié d'après Grisel et coll. (1977), p. 337.

Il existe de nombreux critères qui peuvent être utilisés pour identifier les questions prioritaires et les régions où des évaluations sont requises. Ces critères sont décrits dans l'annexe. Ils sont divisés en trois grandes catégories : les descripteurs de régions géographiques dans lesquelles les bassins sont situés (p.ex., la qualité naturelle des eaux), les utilisations et les besoins en eau (p. ex., les questions sur les eaux) et divers indices numériques qui peuvent être utilisés pour caractériser un groupe de bassins. Les exemples ci-dessous montrent de quelle façon ces critères ont été utilisés durant la négociation des ententes fédérales-provinciales au cours des trois dernières années :

(i) Au cours de la négociation de l'entente avec le Québec, on a d'abord identifié les bassins versants d'intérêt de chaque partie, selon certaines questions sur la qualité des eaux, pour ensuite les décrire en termes de superficie, de population, de régions physiographiques couvertes et de leur niveau de développement. On a caractérisé ces bassins en les plaçant sur un graphique de la superficie en fonction de la population totale, tandis que les régions physiographiques et les niveaux de développement étaient cartographiés. Des combinaisons variées de ces critères ont été utilisées pour élaborer une série d'options et identifier les bassins d'intérêt conjoint.

(ii) Dans le cas de Terre-Neuve, tous les bassins d'intérêt ont d'abord été répertoriés avec leur superficie et leur débit à l'embouchure. Ensuite on a identifié toutes les utilisations de l'eau (p. ex., questions sur la qualité des eaux) dans chacun de ces bassins, de même que les mandats appliqués ou potentiels fédéraux ou provinciaux pour la surveillance de la qualité de ces eaux. Les mandats et les utilisations de l'eau ont ensuite servi comme critères pour attribuer un niveau de priorité à chaque bassin et identifier les régions d'intérêt conjoint ou seulement d'intérêt fédéral ou provincial. Les niveaux de priorité attribués à chaque bassin ont aussi permis aux gestionnaires de décider quels bassins pourraient être évalués à même les ressources disponibles pour la mise en oeuvre des réseaux.

(iii) Les bassins de la Colombie-Britannique ont été choisis sur la base d'intérêt conjoint dans des conflits actuels ou potentiels d'utilisation de l'eau. On a aussi cherché à couvrir la gamme des conditions hydrologiques retrouvées dans la province.

(iv) Les bassins du Manitoba ont été choisis à même un ensemble de bassins désignés. Les questions sur la qualité des eaux ont été décrites pour chaque bassin et des niveaux de priorité leur ont été attribués à partir des priorités des gouvernements fédéral et provincial.

Les exemples décrits ci-haut montrent les différentes procédures utilisables dans la sélection des bassins à partir des critères précédemment décrits, en réponse aux caractéristiques régionales des bassins versants et à l'importance accordée à diverses questions sur la qualité des eaux. Néanmoins, certaines étapes sont retrouvées dans tous les exemples. D'abord, les questions sur la qualité des eaux doivent être répertoriées, puis se voir attribuer un niveau de priorité et être cartographiées, pour identifier les bassins d'intérêt. Il est à noter que lorsqu'un bassin est classé comme étant d'intérêt conjoint, cela ne veut pas dire que toutes les stations sur ce bassin sont fédérales-provinciales. Les deux gouvernements peuvent démontrer le même niveau d'intérêt pour un bassin donné, mais pour des questions différentes sur la qualité des eaux, ce qui veut dire qu'il est possible que seulement une partie des stations soit d'intérêt conjoint.

MACROLOCALISATION DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

Le bassin versant, tel que décrit ci-haut, est un concept qui englobe tout ce qui se passe dans les limites géographiques du bassin avec une partie du cycle hydrologique. Plusieurs auteurs ont décrit et expliqué les liens entre les systèmes atmosphérique, terrestre et aquatique qui existent dans un bassin versant (Likens et Bormann, 1974; O'Sullivan, 1979; Welch, 1978). La qualité des eaux peut donc éventuellement être prédite à partir de facteurs climatiques, géologiques ou biologiques (Lotspeich, 1980). De plus, ces facteurs induisent un gradient de l'amont vers l'aval dans les caractéristiques physiques (p. ex., débit du cours d'eau), morphologiques (p. ex., élargissement) et biologiques (p. ex., succession) des cours d'eau et des lacs avec l'accroissement de leur ordre (Vannote et coll., 1980). Ce continuum dans un cours d'eau est à son tour affecté par les activités humaines. Les altérations de la qualité de l'eau d'origine anthropogène peuvent être décrites comme des facteurs de changement qui amènent le continuum original à être brisé en sections où on observe un retour vers les conditions des eaux de tête de bassin (appauvrissement) ou vers les conditions à l'embouchure (enrichissement), dépendant du type de perturbation et de sa localisation dans le bassin (Vannote et coll., 1980).

À partir de ces observations, trois approches ont été conçues pour la localisation des stations, à partir d'un gradient spatial : l'approche globale, l'approche par sous-bassin, et l'approche par segment de rivière.

Approche globale

L'approche globale a été conçue pour évaluer le bilan hydrochimique d'un bassin (tableau 1). Elle est basée sur l'hypothèse que le bassin versant se comporte comme une «boîte noire» dont on mesure les entrées (ce qui provient de l'extérieur du bassin) et les sorties (ce qui quitte le bassin). Pour cela, on localise une station près de l'embouchure de la rivière et une autre près de sa source. La station d'échantillonnage des eaux de tête du bassin est utile pour faire la mesure de la qualité naturelle de l'eau et avoir une idée de l'ordre de grandeur des entrées diffuses dans le bassin versant (telles que l'influence des apports atmosphériques). La station à l'embouchure de la rivière intègre les changements majeurs qui ont affecté la qualité des eaux durant leur écoulement vers l'aval du bassin. Selon la perspective développée plus haut, toutes les stations localisées suivant l'approche globale sont utiles pour l'évaluation des tendances à long terme, des charges en contaminants accumulées durant l'écoulement et de la qualité naturelle de l'eau.

Approche par sous-bassin de rivière

Une fois que les entrées atmosphériques et les sorties sont sous surveillance, la suite logique de l'évaluation d'un bassin est d'identifier la localisation, la contribution et les impacts des sources de pollution à l'intérieur du bassin. Ces sources sont de nature diffuse ou locale. Les sources diffuses à considérer comprennent les terres agricoles et les zones forestières. L'approche par sous-bassin permet l'évaluation de l'altération de la qualité des eaux causée par des sources diffuses de polluants. Vannote et coll. (1980) ont affirmé qu'il y a un gradient de l'amont vers l'aval de la rivière causé par une accumulation de matières entraînées depuis la tête du bassin (matières minérales et organiques). Dans le cas des sources diffuses de polluants, le même gradient existe quand les polluants sont libérés à partir de grandes surfaces (p. ex., terres agricoles). Par conséquent, on peut évaluer les sources diffuses de polluants par la surveillance de sous-bassins d'ordres variés. Les indices morphologiques sont les plus faciles à mesurer et interpréter pour l'identification des sous-bassins d'un même ordre à l'intérieur d'un bassin donné.

La méthode la plus connue pour l'identification et la classification de sous-bassins et de segments de rivière est celle de Horton (1945) (figure 1). Cette méthode est utile pour construire une hiérarchie de cours d'eau dans un même bassin versant et pour diviser ce bassin en sous-bassins. Même si on peut relier l'ordre des rivières à leur débit, il existe une certaine imprécision introduite au niveau des cours d'eau d'ordre 1 parce que, dans la plupart des cas, on ne peut pas faire de différence hydrologique ou chimique entre un cours d'eau d'ordre 1 et le premier segment du cours d'eau d'ordre 2 dont il est l'affluent. Strahler (1953) a corrigé cette imprécision en attribuant l'ordre «x» à un segment donné de rivière à partir de l'endroit où se joignent deux segments d'ordre «x-1», tel qu'illustré à la figure 2.

La classification des segments de rivière de Strahler est celle recommandée pour la stratégie de la DQE pour l'évaluation de la qualité de l'environnement aquatique. Elle devrait être utilisée pour diviser un bassin en sous-bassins et pour identifier les principaux affluents et les segments du cours d'eau principal d'une rivière donnée. Les stations d'échantillonnage peuvent ensuite être localisées à l'embouchure des principaux tributaires ou en aval de leur jonction avec la rivière principale.

Approche par segment de rivière

L'approche par segment de rivière est utilisée en fonction de l'évaluation de l'importance d'une ou plusieurs sources locales de contaminants et de leur impact sur la qualité de l'environnement aquatique en aval. Les sources locales envisagées comprennent les grandes villes (eaux usées), les sites industriels, les sites d'enfouissement, les sites de construction et les barrages hydroélectriques. Les autres sites à considérer à cause de changements probables dans la qualité des eaux induits par d'autres usages sont les zones de pêche commerciale et les zones récréatives. L'étude des aspects techniques de la macrolocalisation des stations pour la surveillance des sources de pollution dans une rivière se trouve dans les rapports de la U.S. Environmental Protec-

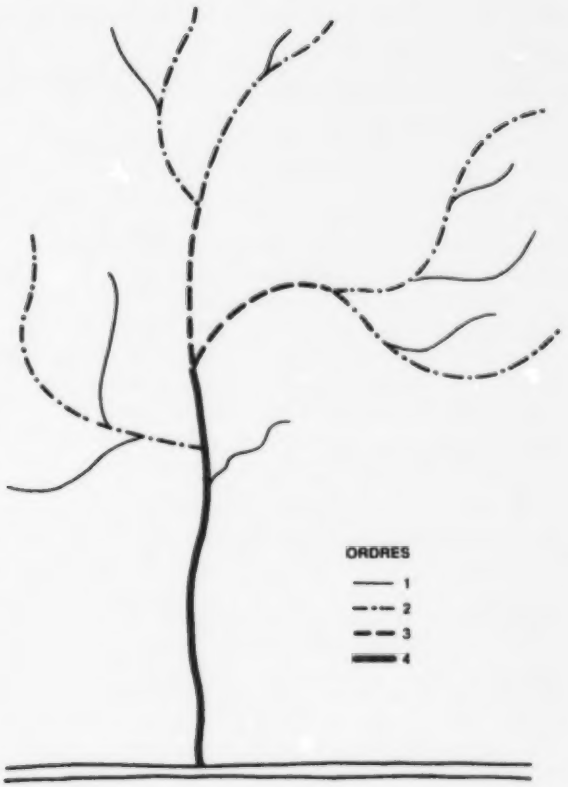

Figure 1. Classification des cours d'eau, méthode de Horton.

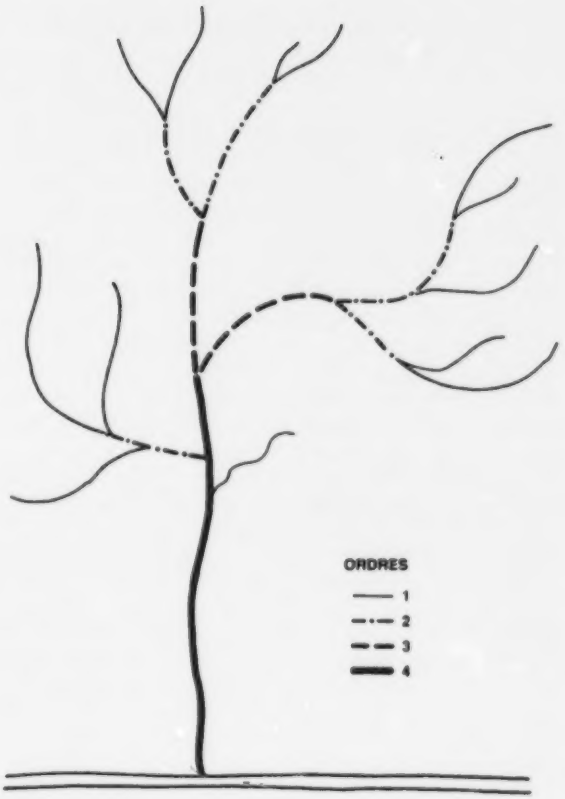

Figure 2. Classification des cours d'eau, méthode de Strahler.

tion Agency (1975, 1977), Erlebach (1979), Interdepartmental Committee on Water (1973), Sanders et coll. (1983).

La première étape de l'approche par segment de rivière est de faire l'inventaire des sources locales de polluants dans le bassin. La distribution spatiale des contaminants impliqués et les zones affectées peuvent être étudiés en échantillonnant en amont et en aval des sources locales connues ou potentielles ou à n'importe quel site où on s'attend à observer un changement dans la qualité de l'eau.

Stations d'échantillonnage des lacs

Les lacs font partie intégrante du réseau hydrographique d'une rivière, mais présentent des caractéristiques différentes de celles des eaux courantes, ce qui les rend utiles pour certaines évaluations de la qualité des eaux.

À l'échelle de l'approche globale, les lacs se comportent comme des collecteurs naturels des précipitations atmosphériques et sont aussi des intégrateurs de toutes les entrées provenant de leur bassin hydrographique. Ils représentent donc un bon site pour la collecte d'échantillons montrant les effets des apports diffus d'origine atmosphériques (O'Sullivan, 1979; Likens et Bormann, 1974). Cela est spécialement le cas pour les lacs de tête.

De plus, l'échantillonnage des eaux des lacs montre souvent moins de variabilité temporelle (mais des différences spatiales plus grandes) que celui des eaux des rivières. Cela permet une réduction des coûts d'échantillonnage lorsqu'on utilise les lacs pour des évaluations de la qualité des eaux à long terme.

Les critères suivants sont suggérés pour la sélection des lacs de tête à inclure dans la réseau :

(a) Comme les lacs de tête vont être utilisés pour mesurer les effets des précipitations atmosphériques, on devrait sélectionner ceux qui occupent les sites les plus élevés du bassin, loin des terres agricoles et des zones urbaines, pour éviter les effets climatiques locaux (Interdepartmental Committee on Water, 1973)

(b) La superficie et la distribution des lacs échantillonnés devraient correspondre à la superficie et à la distribution générales des lacs du bassin versant de la rivière

(c) Les lacs choisis devraient être accessibles par route ou par air

(d) La profondeur des lacs devrait être d'au moins 10 m, pour qu'on y retrouve des conditions thermiques stables

(e) Les lacs dystrophes ou ceux drainant des marais devraient être évités

(f) Les lacs alimentés par des affluents importants devraient être exclus à cause de leur dominance possible par des caractéristiques de rivière.

Dans le cas de l'approche par sous-bassin ou par segment de rivière, les lacs localisés sur le cours principal de la rivière, de même que les réservoirs ou les élargissements sont reconnus comme des sites de déposition des sédiments en suspension. Cette caractéristique les rend très utiles pour des évaluations à court ou à long terme basées sur l'échantillonnage des sédiments.

En général, les stations d'échantillonnage de l'eau et des sédiments devraient être localisées près du centre du lac, là où la profondeur est maximale, pour éviter les conditions locales causées par les rives. Des critères détaillés pour la localisation des stations en milieu lacustre sont regroupés dans l'annexe.

Considérations générales

De façon générale, on devrait tenir compte des stations d'échantillonnage anciennes ou actuelles dans la localisation des stations d'échantillonnage, pour assurer une continuité à long terme dans les séries de données et pour identifier les cycles saisonniers dans la qualité de l'eau avant de calculer les fréquences d'échantillonnage. Les stations de surveillance de la qualité des eaux devraient être localisées près des stations de mesure de quantité de l'eau lorsque ces dernières existent déjà, dans le but de faciliter l'étude des relations entre la qualité et la quantité de l'eau. Si une station doit être localisée à l'intérieur d'une province, on recommande de le faire en coopération avec les organismes provinciaux de qualité des eaux, car les agents provinciaux sont au courant des questions locales de qualité des eaux et des sources de pollution.

La macrolocalisation des stations, non décrite ici, est basée principalement sur l'accessibilité des sites d'échantillonnage et des considérations logistiques qui devraient être présentées dans le plan d'évaluation élaboré pour chaque province. Les milieux à échantillonner et les paramètres à mesurer, de même que des lignes directrices pour l'interprétation des données et le calcul des fréquences d'échantillonnage sont décrits dans Haffner (1986).

RÉSEAUX PERMANENTS ET RÉSEAUX PÉRIODIQUES

Deux types de conception de réseaux d'évaluation de la qualité des eaux sont décrits dans la «Stratégie de la Direction de la qualité des eaux relative à l'évaluation de la qualité de l'environnement aquatique» (Haffner, 1986) : les réseaux de stations permanentes et les réseaux de stations périodiques.

Les réseaux de stations permanentes (indicatrices) sont définis comme des réseaux exploités à long terme, constitués d'un ensemble de stations fixes (EPA, 1977, 1975). Les données provenant de ce type de réseau sont utilisées pour a) identifier des tendances à long terme dans la qualité des eaux ambiantes, b) estimer l'ampleur de la variation saisonnière dans la qualité des eaux, c) déceler des questions nouvelles ou grandissantes sur la qualité des eaux, d) concevoir des réseaux de stations périodiques ou faire un suivi des résultats à court terme de ce type de réseau sur une plus grande période, e) estimer la capacité de l'eau à supporter diverses utilisations, p. ex., développer des objectifs de qualité des eaux, f) faire un contrôle sommaire de ces objectifs, g) déterminer les impacts de perturbations générales de la qualité des eaux comme le programme TADPA ou des pratiques agricoles polluantes, h) servir de référence pour l'évaluation des futures questions, i) évaluer l'état général de l'environnement aquatique des bassins à l'échelle de la région ou du Canada.

Les réseaux périodiques sont définis comme des réseaux d'échantillonnage intensif à court terme constitués de stations exploitées sur une base périodique (p. ex., dix ans). Ces réseaux sont conçus pour a) étudier la variabilité spatiale de la qualité des eaux ou la distribution spatiale des contaminants, b) étudier la représentativité des stations d'échantillonnage, p. ex., vérifier, calibrer ou extrapoler les résultats des stations permanentes avoisinantes, c) développer des méthodes de biomonitorage, d) déterminer les sources, les cheminements et les impacts de polluants spécifiques sur la vie aquatique, e) faire le portrait spatial des problèmes actuels ou nouveaux sur la vie aquatique, f) développer ou réviser des objectifs de qualité de l'eau pour des lieux spécifiques, g) examiner les relations de cause à effet entre l'exposition à des contaminants et les impacts sur la vie aquatique, h) informer sur des questions spécifiques sur la qualité des eaux ou des lacunes sur le comportement de certains composés chimiques, i) faire des recommandations à propos d'activités actuelles ou futures ou de développement.

En résumé, les réseaux de stations permanentes sont essentiels pour l'obtention de données à long terme et de données de base sur la qualité des eaux, mais sont peu flexibles. Les stations fixes deviennent rapidement fort dispendieuses à exploiter à long terme si une grande couverture spatiale est nécessaire pour un bassin donné. Les réseaux de stations périodiques semblent être le type le plus approprié d'évaluation pour décrire une question

donnée sur la qualité des eaux dans un bassin à un moment donné. De plus, un réseau de stations périodiques permet d'obtenir l'information nécessaire pour un bassin où aucune donnée historique n'est disponible. Les réseaux périodiques sont très flexibles et les stations peuvent être transposées d'un bassin à l'autre après une ou deux années d'exploitation, en réponse à de nouvelles questions sur la qualité des eaux. Le tableau 2 fait la comparaison des évaluations fournies par chacun des deux types de réseaux.

Le tableau 2 montre que chaque type de réseau a ses propres avantages et désavantages; aucun ne peut fournir une évaluation complète de la qualité des eaux (Belle et Hughes, 1983). Quoique souvent considérés comme des choix exclusifs (Comptroller General of the United States, 1981), les réseaux de stations permanentes et les réseaux de stations périodiques sont considérés dans la stratégie comme des modes complémentaires pour obtenir des données environnementales. Fondamentalement, les réseaux

Tableau 2. Utilisation des réseaux permanents ou périodiques dans l'évaluation de la qualité des eaux

Type d'évaluation	Information recherchée	Réseau d'échantillonnage requis	Sites d'échantillonnage potentiels*
Information de base, ou conditions naturelles du bassin versant étudié	Teneur en ions principaux et nutriments	Permanent	1, 2, 3, 4, 5, 7
	Cycles saisonniers des concentrations	Permanent	1, 2, 3, 4, 5, 7
	Cycles annuels des concentrations	Permanent	1, 2, 3, 4, 5, 7
	Présence et teneur de divers contaminants dans divers milieux	Permanent ou périodique	1, 2, 11, 14
Distribution spatiale ou tendances spatiales dans la distribution des contaminants	Cartographie de la distribution des contaminants	Périodique	1 à 14
	Détermination des zones homogènes	Périodique	1 à 14
	Gradients spatiaux (p. ex., de l'amont vers l'aval)	Périodique (nombreux sites)	4, 6, 8 à 14
		ou permanent (peu de sites)	4, 10, 14
Tendances à long terme	Identification de tendances temporelles dans des séries chronologiques de données	Permanent	1, 2, 3, 4, 14
Identification de questions réelles ou potentielles de qualité des eaux	Balayage des contaminants potentiels pour vérifier leur présence	Permanent (peu de sites)	1, 2, 14
		ou périodique (nombreux sites)	7 à 14
	Évaluation des dangers environnementaux (santé publique, protection de la vie aquatique, etc.) par la comparaison avec les objectifs de qualité de l'eau	Permanent (peu de sites)	10, 14
		ou périodique (nombreux sites)	1, 2, 6, 8 à 14
Évaluation des impacts sur l'environnement	Mesure des effets des contaminants sur la vie aquatique et sur diverses utilisations de l'eau	Permanent	1, 2, 6, 10, 11, 13, 14
Définition de lignes directrices et d'objectifs sur la qualité des eaux	Évaluation du degré de minéralisation de certains segments de rivière	Permanent	1 à 5, 7, 10, 14
			1, 2, 8 à 14
	Détermination des concentrations minimales avec effet pour divers polluants dans divers milieux pour diverses utilisations de l'eau	Périodique	
Mise en oeuvre de réseaux de contrôle des objectifs de qualité de l'eau	Évaluation de la conformité en fonction du temps (%); identification des sources diffuses	Permanent	14, 8, 9
	Description de l'étendue d'un effet ayant une gravité donnée; localisation des sources ponctuelles	Périodique	1, 2, 6, 11, 13, 14
Estimation des charges de contaminants	Détermination de la masse totale d'un contaminant transportée par le débit annuel d'un cours d'eau	Périodique	1, 6, 8, 9, 13, 14
Efficacité d'un règlement en vigueur, ou impact de la mise en oeuvre d'un projet sur la qualité des eaux (p. ex., barrage)	Déterminer si la qualité des eaux a changé depuis la mise en oeuvre du règlement ou du projet	Périodique (court terme)	11, 12, 14
		ou permanent (long terme)	12, 14

* Les sites d'échantillonnage sont indiqués à la figure 3.

de stations permanentes sont limités dans leur capacité d'évaluer des problèmes liés à une variabilité spatiale, à des relations de cause à effet ou à des interactions entre des composantes chimiques ou biologiques; les réseaux périodiques sont limités dans leur capacité à détecter des tendances à long terme.

Les deux approches fournissent l'information nécessaire au développement d'objectifs de qualité de l'eau et à la conception de réseaux pour leur contrôle. L'ensemble de données temporelles des réseaux de stations permanentes peut être utilisé pour faire l'évaluation des objectifs en fonction du temps (pourcentage toléré des résultats excédant les objectifs) et pour identifier les sources diffuses de contaminants, tandis que les données spatiales provenant des réseaux périodiques peuvent informer sur l'étendue, l'importance des impacts et la localisation des sources locales de contaminants.

UN EXEMPLE DE MACROLOCALISATION DE STATIONS DANS UN BASSIN DE DRAINAGE

Les fondements et les critères précédemment décrits pour la macrolocalisation des stations ont été appliqués à l'aide de l'exemple ci-dessous. Les toxiques dans l'environnement aquatique sont considérés comme la question la plus importante pour le bassin illustré à la figure 3. Ce bassin a été choisi à cause de ses nombreuses sources connues de substances toxiques, p. ex., les industries à l'embouchure de la rivière, une zone urbaine importante, des activités agricoles intensives dans le sud du bassin et des arrosages de pesticides récents dans la région forestière au nord du bassin. À cela s'ajoute l'impact possible des précipitations de polluants TADPA. De plus, comme une frontière internationale traverse la tête du bassin, on doit y évaluer les importations potentielles en substances toxiques.

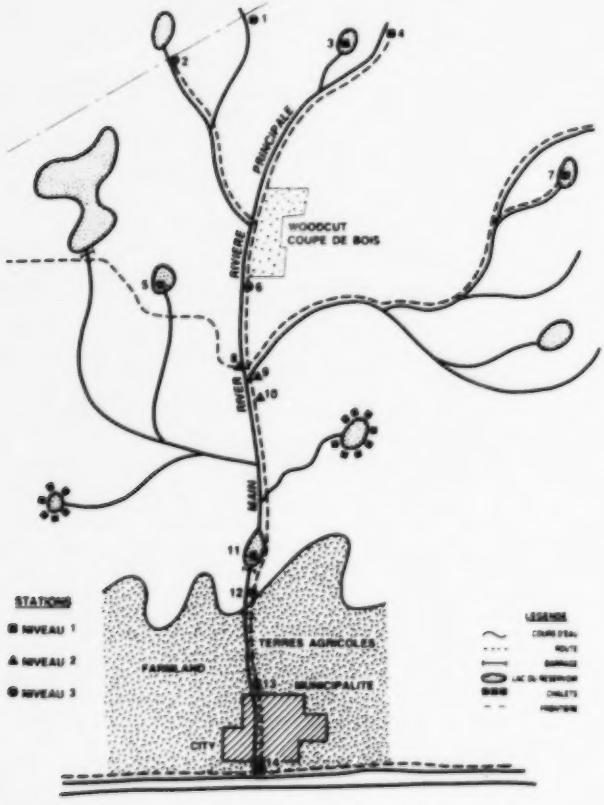

Figure 3. Localisation des stations d'échantillonnage sur un bassin versant.

La figure 3 montre 14 sites qui peuvent être utilisés pour la macrolocalisation des stations dans le bassin étudié. Pour une seule question sur la qualité des eaux, p. ex., les substances toxiques, il existe plusieurs types d'évaluations de la qualité des eaux, selon les indications données dans les objectifs du réseau d'échantillonnage qui doit être conçu. Le tableau 2 fait le lien entre les sites d'échantillonnage potentiels de la figure 3 et le type d'évaluation pour laquelle chacun d'entre eux peut être utilisé.

CONCLUSION

Des critères très flexibles doivent être utilisés pour la macrolocalisation des stations à cause de l'existence d'une grande variété de bassins versants de rivières (superficie, géologie, climat, activités humaines, etc.), de questions sur la qualité des eaux (eutrophisation, acidification, substances toxiques, etc.) ou d'évaluations (spatiale, temporelle, etc.). La combinaison des approches globales, par sous-bassin et par segment de rivière permet de planifier divers types d'évaluations de la qualité des eaux selon une variété d'échelles spatiales. L'utilisation de stations permanentes et périodiques permet de faire des évaluations centrées sur les aspects temporels et spatiaux respectivement, sur une base complémentaire ou séparée. Les tableaux montrent comment relier une station d'échantillonnage donnée avec un ou plusieurs objectifs du plan original du réseau pour l'évaluation d'une question sur la qualité de l'eau.

Il est suggéré que ce rapport soit utilisé comme document de travail dans la préparation du plan d'évaluation résumé dans chaque entente fédérale-provinciale, et comme une référence lors de la mise en oeuvre de la stratégie de la Direction de la qualité des eaux sur l'évaluation de la qualité du milieu aquatique.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation et la révision de ce rapport. Des remerciements sont adressés en particulier à G.D. Haffner, qui a encouragé de faire cette étude, R. Kwiatkowski; qui l'a révisée maintes fois, de même que les

employés des régions et de l'administration centrale de la Direction de la qualité des eaux. Des remerciements sont aussi adressés à la section de traitement de texte et la Division des publications et de la correction-rédaction de la Direction générale des eaux intérieures, Ottawa et à la section du dessin, Division des services administratifs, qui a préparé les figures.

RÉFÉRENCES

Belle, G. van, et J.P. Hughes. 1983. Monitoring for water quality: fixed stations versus intensive surveys. Water Pollut. Control Fed. J., 55(4): 400-404.

Benson, M.A. 1959. Channel slope factor in flood frequency analysis. Proc. Ann. Soc. Civ. Eng., Hydraulics Div., 85: 1.

Bostock, H.S. 1972. Physiographic subdivisions of Canada. Dans *Geology and Economic Minerals of Canada*, Commission géologique du Canada, Economic Geology Series No. 1, 5e édition.

Campbell, P.G., M. Meybeck, et A. Tessier. 1973. *Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec*, Vol. I. Relations entre l'utilisation de la ressource et sa qualité. Institut national de recherche scientifique-Eau, Université du Québec, Complexe scientifique, Sainte-Foy, Rapport scientifique nº 32, 94 p.

Cluis, D., D. Couillard, et L. Potvin. 1974. *Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec*. Vol. 4. Utilisation du territoire d'un bassin et modèle d'apports. Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des eaux, Service de la qualité des eaux, Québec. Pub. Q.E.-9, 133 p.

Comptroller General of the United States. 1981. Better monitoring techniques are needed to assess the quality of rivers and streams. Report to Congress, United States of America, General Accounting Office, Pub. CEO-81-30, Washington, D.C., 205 pp.

Direction de la qualité des eaux. 1986. Activités de la Direction de la qualité des eaux. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Ottawa. 30 p.

Dodge, D.P., G.A. Goodchild, J.C. Tilt, et D.G. Waldriff. 1981. Manual of Instructions – Aquatic Habitat Inventory Surveys: Fisheries Branch, Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement de l'Ontario. Official Procedural Manual, Policy F1.2.03.01, 168 p.

Énergie, Mines et Ressources Canada. 1974. Atlas national du Canada.

Environnement Canada. 1978. Une ressource vitale. Déclaration de la politique fédérale sur les eaux intérieures. Ottawa.

Environnement Canada. 1979. Sommaire chronologique des données d'écoulement. Série des données sur les eaux de surface. Série des données sur les sédiments. Relevés hydrologiques du Canada, Direction générale des eaux intérieures, Ottawa.

Environnement Canada. 1982. Normales climatiques canadiennes 1951-1980. Vol. 1: Éclairement; Vol. 2: Température; Vol. 3: Précipitations; Vol. 4: Degrés-jours; Vol. 5: Vent; Vol. 6: Gel. Service de l'environnement atmosphérique.

Environnement Canada. 1986. Manuel des méthodes analytiques. Direction de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Ottawa.

Erlebach, W.E. 1979. A systematic Approach to Monitoring Trends in the Quality of Surface Waters. Dans *Establishment of Water Quality Monitoring Programs*, L. G. Everett et K.E. Schmidt (ed.) Proc. Symp. AWRA, San Francisco, 12-14 juin, 1978, pp. 17-19. American Water Resources Assoc., Minneapolis, Minnesota, 370 p.

Grisel, H., M. Lachance, M. Meybeck, J.-L. Sasseville, et H. St-Martin. 1977. Évolution de la qualité de l'eau dans le cycle hydrologique. Chapitre 3, pp. 170-368. Dans *Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec*, préparé par H. St-Martin et M. Cantin. Tome 2: Processus de régulation de la qualité des eaux d'un bassin. Institut national de recherche scientifique-Eau, Université du Québec, Sainte-Foy, Rapport scientifique nº 33, 760 p.

Haffner, G.D. 1986. Stratégie de la Direction de la qualité des eaux relative à l'évaluation de la qualité de l'environnement aquatique. Étude nº 151, série scientifique, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa. 18 p.

Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am., (56): 275.

Hutchinson, G.E. 1957. Geography, physics and chemistry. – Vol. I. Dans *A Treatise on Limnology*, Chapman & Hall, London, 1015 p.

Interdepartmental Committee on Water Working Group on Water Quality Networks. 1973. Guidelines for the Planning and Operation of Inland Water Quality Assessment Programs and the Interpretation of Data. Environnement Canada, Ottawa, 36 p.

Likens, G.E., et F.H. Bormann. 1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. Biosci., 24(8): 447-56.

Lind, O.T. 1979. *Handbook of Common Methods in Limnology*. C.V. Mosby Company, Toronto, 199 p.

Lotspeich, F.B. 1980. Watershed as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for a natural classification system. Water Resour. Bull., 16(4): 581-86.

Miller, V.C. 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Project NR 389-042, Rep. 3, Department of Geology, Columbia University, New York.

O'Sullivan, P.E. 1979. The ecosystem-watershed concept in the environmental sciences – a review. Int. J. Environ. Stud., 13:273-81.

Pearse, P.H., F. Bertrand, et J.W. MacLaren. 1985. Vers un renouveau. Rapport définitif. Enquête sur la politique fédérale relative aux eaux. Ottawa. 259 p.

Pêches et Environnement Canada. 1977. Index de référence – Supplément de cartes hydrométriques, Canada, 1977. Relevés hydrologiques du Canada, Direction générale des eaux intérieures, Ottawa.

Pêches et Environnement Canada. 1978. *Atlas hydrologique du Canada*.

Sanders, T.G., R.C. Ward, J.C. Loftis, T.D. Steele, D.D. Adrian, et V.J. Yevjevich. 1983. *Design of networks for monitoring water quality*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado. 318 p.

Sasseville, J.-L., H. St-Martin, et M. Cantin (éd.). 1978. *Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec. Tome 2*. Processus de régulation de la qualité des eaux d'un bassin. Ministère des Richesses naturelles du Québec, Service de la qualité des eaux, rapp. Q.E.-7, 760 p.

Scott's Directories. 1984-85. Publié par Scott's Directories – une filiale de Southam Communications Ltd., Oakville (Ontario).

Shilts, W.W. 1981. Sensibilité de la roche en place aux précipitations acides: modifications dues aux phénomènes glaciaires. Commission géologique du Canada, Étude 81-14, 7 p. (comprend les cartes 1549A, 1550A et 1551A).

Strahler, A.N. 1953. Revision of Horton's quantitative factor in erosional terrain. Trans. Am. Geoph. Union, (34): 345.

Thie, J., et G. Ironside (éd.). 1977. Classification écologique (biophysique) du territoire du Canada. – Ecological (biophysical) land classification in Canada. Compte rendu de la première réunion du CCCET, 25-28 mai 1976. Petawawa (Ontario). Direction générale des terres, Environnement Canada, Nº de cat. En 73-3/1, 269 p.

U.S. Environmental Protection Agency. 1975. Model State Water Monitoring Program. U.S. EPA, National Water Monitoring Panel, Water Monitoring Task Force, Pub. EPA-440/9-74-002.

U.S. Environmental Protection Agency. 1977. Basic Water Monitoring Program. U.S. EPA, Standing Work Group on Water Monitoring, Pub. EPA 440/9-76-025, 51 pp.

Vannote, R.L., G. Wayne Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell, et C.E. Cushing, 1980. The river continuum concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37: 130-37.

Welch, D.M. (éd.). 1977. Land/Water Integration. Comité canadien sur la classification écologique (biophysique) du territoire, Groupe de travail sur l'intégration terre/eau, Direction générale des terres, Environnement Canada. Compte rendu de la première réunion, 17 et 18 février 1977, Winnipeg (Manitoba), 70 p.

Welch, D.M. 1978. Land/Water Classification – a review of water classifications and proposals for water integration into Ecological Land Classification. Direction générale des terres, Environnement Canada, Série de la classification écologique du territoire nº 5, 53 p.

Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. W.B. Saunders Company, Toronto, 743 p.

ANNEXE A

CRITÈRES DE SÉLECTION DES BASSINS ET DE MACROLOCALISATION DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

Tableau A-1. Critères de sélection des bassins versants

Régions géographiques

Régions hydrographiques

Chaque province a été subdivisée en régions hydrographiques, mais les régions décrites sont parfois trop grandes pour être pratiques. Dans certains cas cependant, les provinces disposent de leur propre système de subdivision. On suggère donc de décrire les bassins selon une perspective provinciale.

Régions naturelles et physiographiques

Ces régions sont caractérisées par un modèle topographique et géologique défini, souvent associé à un modèle climatique et de végétation. (Bostock, 1970, Pêches et Environnement Canada, 1978; Thie et Ironside, 1977).

Régions influencées par l'homme

Ces régions sont caractérisées par leur potentiel en ressources naturelles, le niveau de transformation de ces ressources, la diversité et l'importance des activités économiques, et leur population totale (Énergie, Mines et Ressources Canada, 1974).

Questions sur la qualité des eaux

On peut identifier les divers usages par des consommateurs (u) ou contaminateurs (c) de l'eau, par exemple :

- activités industrielles (pâtes et papiers, produits chimiques, etc.) (u, c)
- principales villes et zones urbaines (u, c)
- barrages (c)
- agriculture (irrigation, abreuvement) (u, c)
- opérations forestières et flottage du bois (c)
- mines (u, c)
- pêche commerciale (u)
- activités récréatives (u, c)
- transport maritime (u, c)

Indices numériques

Les bassins peuvent être classés suivant un ordre croissant ou décroissant pour un ou plusieurs indices mesurés. Des indices combinés peuvent aussi être utilisés. Les résultats peuvent être présentés sur un graphique pour faciliter l'identification de groupes de bassins (p. ex., bassins densément peuplés d'une grande superficie). Parmi les indices faciles à mesurer il y a les suivants :

- superficie du bassin versant
- population du bassin versant
- débit moyen de la rivière

Tableau A-2. Indices utilisés dans la caractérisation des bassins représentatifs choisis pour les besoins de la stratégie de la DQE*

Indices	Sources
Localisation	
Nom de la rivière	
Code fédéral du bassin et du sous-bassin	Pêches et Environnement Canada (1977)
Code provincial du bassin et du sous-bassin	
Code des cartes topographiques (échelle 1:250 000)	Énergie, Mines et Ressources Canada
Stations de monitorage actuelles et anciennes	
Stations hydrométriques fédérales	Environnement Canada (1981, 1979)
Stations hydrométriques provinciales	
Stations d'échantillonnage fédérales	
Stations d'échantillonnage provinciales	
Habitat naturel	
(a) Topographie et physiographie	Sasseville et coll. (1978)
(i) Rivières	Welch (1978, 1977)
Superficie du bassin versant	
Périmètre du bassin versant	
Rapport de circularité de Miller	Miller (1953)
Altitudes moyenne, minimale et maximale	
Courbe hypsométrique du bassin	Strahler (1953)
Profil longitudinal du cours d'eau	
Pente moyenne du bassin (méthode des intersections)	Horton (1945)
Longueur du cours principal de la rivière	
Indice de pente de Benson	Benson (1959)
Sinuosité de la rivière	Sasseville et coll. (1978)
Présence de lacs ou de tourbières.	
Hiérarchie des segments de rivière	Strahler (1953)
Modèle de rivière : en treillis, dendritique, etc.	
Forme de la vallée principale : jeune, mature, vieille	
Régions physiographiques	Thie et Ironside (1977)
Topographie : plat, vallonné, ondulé, montagneux, en bancs, avec plateaux, avec terrasses, avec eskers, etc.	
(ii) Lacs	
Localisation : longitude et latitude	Hutchinson (1957)
Superficies du lac et de son bassin	Lind (1979)
Pente moyenne du bassin	Dodge et coll. (1981)
Périmètre du lac (longueur du rivage)	Wetzel (1975)
Indice de développement du rivage (IDR)	
Indice de forme du lac	
Longueur maximale du lac	
Orientation de l'axe principal	
Topographie (voir (i) plus haut)	
Profondeur maximale et moyenne	
Volume du lac	
(b) Géologie	
Région géologique	Énergie, Mines et Ressources Canada (1974)
Régions géologiques de Shilts	Shilts (1981)
Dépôts de surface (till et dépôts glaciaires, marins ou aquatiques)	
Érosion, minéralisation (ions principaux, matières solides en suspension)	

* Ces indices sont aussi utilisés pour aider à définir les questions sur la qualité des eaux, la localisation des stations et l'interprétation des données.

† Toutes les données des Relevés hydrologiques du Canada sont stockées dans une banque informatisée appelée HYDAT.

Tableau A-2 (suite)

Indices	Sources
(c) Climat	
Régions climatiques : toundra, taïga	Énergie, Mines et Ressources Canada (1974)
Températures annuelles minimale, maximale, moyenne ou saisonnière	Environnement Canada (1982)
Nombre de jours avec gel, par année	Environnement Canada (1982)
Précipitations annuelles moyennes (pluie, neige)	Environnement Canada (1982)
Dépôts atmosphériques annuels ou saisonniers moyens	Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air (RCEPA)
(d) Sols et végétation	
Pourcentage de terres forestières	
Ecodistricts	Thie et Ironside (1977)
Sols dominants (minéralisation, drainage, fertilité)	Système de données sur les terres du Canada, Direction générale des terres
Zones pédoclimatiques	Énergie, Mines et Ressources Canada, (1974)
(e) Hydrologie	
Cartes hydrologiques (1:200 000)	Pêches et Environnement Canada (1977)
Débit : moyenne, variance, minimum et maximum mensuels et annuels	Relevés hydrologiques du Canada†
Niveau d'eau : moyenne, variance, minimum et maximum mensuels et annuels	Relevés hydrologiques du Canada
Carte des zones d'inondation	Direction de la planification et de la gestion (eau), Direction générale des eaux intérieures
(f) Biologie et physico-chimie	
Productivité des eaux (p. ex. chlorophylle *a*)	
Nutriments (charges, sources)	
Turbidité	
Minéralisation (ions principaux, matières solides en suspension)	
Métaux lourds et composés organiques dans l'eau, sédiments et biote	
Poisson (frayères, aire d'alimentation, etc)	
Autres espèces aquatiques présentes (plancton, macrophytes, organismes benthiques)	
Influences anthropogènes	
(a) Population	Statistique Canada
Total	
Densité	
Villes ou villages riverains et leur population	
PNB per capita	
Comtés	
Taux de chômage	
Secteurs d'emploi (p. ex., forêt, industrie, agriculture)	
(b) Municipalités	Service de protection de l'environnement, ministères de l'environnement des provinces, municipalités
Zone urbaine	
Localisation et types d'usines d'assainissement de l'eau	
Lieux de rejet d'eaux d'égoûts	
Volume des effluents	
Consommation en eau	
Localisation et superficie du réservoir d'eau potable	
Traitement de l'eau potable	

Tableau A-2 (suite)

Indices	Sources
(c) Agriculture	Statistique Canada, ministères de l'agriculture des provinces
Nombre total de fermes	
Superficie totale des fermes (et pourcentage de la superficie du bassin)	
Superficie totale des cultures, par catégorie	
Nombre total des bêtes d'élevage, par catégorie	
Ventes totales d'engrais; catégories et montants des ventes des années précédentes	
Ventes totales de pesticides; catégories et montants des ventes des années précédentes	
(d) Foresterie	Statistique Canada, Direction générale des terres, ministères des richesses naturelles des provinces
Superficie des coupes forestières (et pourcentage de la superficie du bassin)	
Superficie des forêts	
Pourcentage de la main d'oeuvre	
Présence de flottage du bois	
Superficie des arrosages de pesticides	
Types et quantités de pesticides utilisés	
(e) Mines	Énergie, Mines et Ressources Canada, ministères des mines des provinces
Localisation	
Nombre de sites (mines en exploitation ou désaffectées)	
Minerais extraits	
Superficie couverte par les terrils	
Pourcentage de la main d'oeuvre régionale	
Tendances économiques	
(f) Énergie hydroélectrique	Compagnies d'électricités des provinces, Direction de la planification et de la gestion, Direction générale des eaux intérieures
Nombre de barrages et leur localisation	
Quantité d'électricité produite	
Localisation et superficie des réservoirs	
Potentiel hydroélectrique total de la rivière	
(g) Industries	Ministères de l'environnement des provinces
Pourcentage de la main d'oeuvre régionale	Statistique Canada
Principales industries	
Nombre et localisation, des sites industriels, des usines et des moulins	Scott's Directories
Opérations saisonnières	
Nombre et localisation des rejets	Service de protection de l'environnement
Produits finaux, matières brutes	
Polluants retrouvés dans les eaux usées	Campbell et coll. (1973), Service de protection de l'environnement
(h) Transports	Transports Canada, ministères des transports des provinces
Infrastructures de transport terrestre, fluvial et aérien	
Matériaux et produits transportés	
Sites de construction routière	

Tableau A-2 (suite)

Indices	Sources
(i) Zones récréatives	Ministères de l'environnement ou du tourisme des provinces; Parcs Canada
Usage saisonnier	
Nombre et importance des terrains de camping, des chalets, des sites panoramiques, des plages, des parcs (provinces ou fédéral)	
Nombre de visiteurs	
Résultats des tournées d'inspection des fosses septiques	
(j) Pollution	
Données et études chronologiques disponibles sur la qualité des eaux	NAQUADAT (Base de données nationales sur la qualité des eaux) Service de protection de l'environnement
Volume des rejets municipaux et industriels	
Consommation et D.B.O. régionales et per capita en eau	
Présence de coliformes fécaux dans l'eau	Ministères de l'environnement des provinces
Sources diffuses de sédiments (agriculture, coupe forestière, construction)	
Taux de déposition des polluants atmosphériques	(RCEPA)
Charges théoriques en phosphore	